

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

2020

Jakub Chlebek

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

# **Návrh demonstračních úloh s robotem UR3**

## **Proposal of Demonstration Tasks with the Robot UR3**

Student: Jakub Chlebek

Osobní číslo: CHL0079

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aleš Vysocký, Ph.D.

Ostrava 2020

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Chlebek**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2301R013 Robotika  
Téma: **Návrh demonstračních úloh s robotem UR3**  
**Proposal of Demonstration Tasks with the Robot UR3**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Analyzujte realizované pracoviště s robotem Universal Robots UR3.
2. Navrhněte a realizujte demonstrační úlohy s vybraným robotem a jeho příslušenstvím dle dohody s vedoucím práce.
3. Vytvořte přehledný návod pro práci s vytvořenými úlohami.
4. Vytvořené úlohy detailně popište v textové části práce.
5. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD a dokumentaci k úlohám dle pokynů vedoucího práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 2007. 48 s.

ČSN ISO 690 *Informace a dokumentace - Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Český normalizační institut, 2010.

BURKOVIČ, J. *Navrhování robotizovaných montážních linek*. 1. vydání. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2008. 163 s. ISBN 978-80-248-1869-6.

PALKO, A., SMRČEK, J. *Robotika, Koncové efektory pre priemyslné a servisné roboty, Navrhovanie – Konštrukcia - Riešenia*. 1. vydání. Košice: TU v Košiciach, 2004. 274 s. ISBN 80-8073-218-3.


NOVÁK, P. *Průmyslové řídicí systémy*. 1. vydání. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2000. 104 s. ISBN 80-7078-733-3.

ISO/TS 15066:2016 *Robots and robotic devices -- Collaborative robots*.

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.


V Ostravě dne 18.5.2020.

  
.....  
Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, že podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18.5.2020

  
.....  
Podpis studenta

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

CHLEBEK, J. Návrh demonstračních úloh s robotem UR3: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky, 2020, 46 s. Vedoucí práce: Vysocký, A.

Bakalářská práce se zabývá tvorbou demonstračních úloh s robotem UR3. Na základě provedené rešerše výukových a demonstračních pracovišť s roboty je navržena komplexní demonstrační úloha montáže převodové skříně. V práci je podrobně popsán vytvořený program robotu a navržené hardwarové doplňky. Práce je v příloze doložena programem robotu, 3D modelem navržených hardwarových doplňků a podrobným návodem pro práci s navrženou úlohou.

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

CHLEBEK, J. Proposal of Demonstration Tasks with the Robot UR3: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2020, 46 p. Thesis head: Vysocký, A.

Bachelor thesis is dealing with creation of demonstration tasks with the robot UR3. Based on the research of educational and demonstrational workstations with robots, the complex demonstration task of gearbox assembly is created. The created robot program and designed hardware accessories are described in detail. The work attachment includes robot program, 3D model of designed hardware accessories and detailed instructions for working with the designed task.

# Obsah

<b>Obsah .....</b>	<b>6</b>
<b>Seznam použitých zkratek .....</b>	<b>8</b>
<b>Seznam pojmů .....</b>	<b>9</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>10</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>12</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>13</b>
<b>1 Demonstrační a výuková pracoviště s roboty .....</b>	<b>14</b>
1.1 Školící buňka ABB .....	14
1.2 Akademie Universal Robots .....	15
1.3 Školní pracoviště s robotem IRB140 .....	16
1.4 Demonstrační úloha s robotem KUKA .....	18
1.5 Montážní úloha s force-torque senzorem .....	18
<b>2 Pracoviště s robotem Universal Robots UR3 .....</b>	<b>19</b>
2.1 Robot UR3 .....	20
2.2 Kontrolér robotu UR3 .....	21
2.3 Senzor Optoforce HEX-E .....	23
2.4 Efektor Afag EU – 20 .....	24
<b>3 Demonstrační úloha .....</b>	<b>25</b>
3.1 Montážní úloha převodovky .....	25
3.2 Popis hardwarových komponent úlohy .....	28
3.2.1 Sestava převodové skříně .....	28
3.2.2 Zásobník ložisek .....	29
3.2.3 Přípravek pro založení hřídelů .....	29
3.2.4 Zapojení indukčních snímačů .....	30
3.2.5 Struktura efektoru .....	32
3.3 Program robotu .....	35
3.3.1 Bezpečnostní nastavení .....	35
3.3.2 Nastavení TCP .....	35
3.3.3 Hlavní program .....	36
3.3.4 Pohybová operace .....	37
3.3.5 Subrutina odebírání .....	39
3.3.6 Subrutina založení hřídele .....	39
<b>Závěr .....</b>	<b>42</b>

---

<b>Poděkování .....</b>	<b>43</b>
<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>44</b>
<b>Seznam příloh.....</b>	<b>46</b>



**Seznam použitých zkratk**

FT	force-torque
OM	objekt manipulace
TCP	tool center point
UR	Universal Robots

## Seznam pojmů

ABB	výrobce robotů
Afag	výrobce efektorů
Balluff	výrobce snímací techniky
Blend	zaoblení dráhy robotu
CB3	starší verze robotů Universal Robots
Efektor	výkonný subsystém robotu
e-Series	nová verze robotů Universal Robots
Freedrive	funkce umožňující pohybovat s robotem paží
FT senzor	senzor síly a kroutícího momentu
Installation	soubor s informacemi o nastavení robotu
Interface	propojení efektoru s koncovou částí robotu
IRB120	robot od firmy ABB
IRB140	robot od firmy ABB
IRC5	řídící systém robotů ABB
ITEM	profil z hliníkové slitiny
KUKA	výrobce robotů
MoveJ	kloubová pohybová funkce
MoveL	pohybová funkce pro lineární pohyb
Optoforce	výrobce FT senzorů
PLA	materiál pro 3D tisk
Polyscope	programovací prostředí robotů Universal Robots
RobotStudio	offline programovací a simulační software robotů ABB
Subrutina	podprogram
Teach pendant	řídící dotykový panel robotů Universal Robots
Tool center point	referenční bod nástroje
UR3	robot od firmy Universal Robots
URSim	simulační software robotů Universal Robots
Waypoint	průjezdni bod

## Seznam obrázků

Obr. 1 Školící robotické pracoviště ABB [1] .....	14
Obr. 2 Interaktivní lekce [2] .....	15
Obr. 3 Školní pracoviště s IRB140 [3] .....	16
Obr. 4 Úloha horký drát [3] .....	16
Obr. 5 Kalibrace efektoru [3].....	17
Obr. 6 Pracovní deska [3] .....	17
Obr. 7 Demonstrační úloha s robotem KUKA [4].....	18
Obr. 8 Montážní demonstrační úloha [5].....	18
Obr. 9 Realizované pracoviště s robotem UR3.....	19
Obr. 10 Robot UR3 [6] .....	20
Obr. 11 Značení kloubů robotu [8] .....	21
Obr. 12 Kontrolér s řídícím panelem [7] .....	21
Obr. 13 Uspořádání elektrického rozhraní ovládací jednotky [8] .....	22
Obr. 14 FT senzor Optoforce HEX-E [10] .....	23
Obr. 15 Efektor Afag EU-20 [11].....	24
Obr. 16 Rozvržení hardwarových komponent na pracovišti .....	25
Obr. 17 Odebrání ložiska ze zásobníku .....	26
Obr. 18 Upozornění operátora .....	26
Obr. 19 Odebrání hřídele robotem.....	27
Obr. 20 Vizuální signalizace přítomnosti hřídele .....	27
Obr. 21 Stav pracoviště po úspěšné montáži .....	27
Obr. 22 Sestava převodové skříně .....	28
Obr. 23 Řez sestavou převodové skříně.....	28
Obr. 24 Skluzový zásobník ložisek.....	29
Obr. 25 Přípravek pro založení hřídelů.....	29
Obr. 26 Indukční snímač [14] .....	30
Obr. 27 Schéma zapojení indukčních snímačů.....	31
Obr. 28 Struktura efektoru 1-FT senzor, 2-redukce, 3-elektrický pohon, 4-čelisti .....	32
Obr. 29 Uchopení komponent převodovky a-ložisko, b-hřídel .....	32
Obr. 30 Poloha těžišť efektoru a-bez OM, b-s ložiskem, c-s hřídelí .....	34

---

Obr. 31 Poloha TCP a-pro ložisko, b-pro hřídel.....	34
Obr. 32 Nastavení parametrů TCP .....	35
Obr. 33 Struktura hlavního programu .....	36
Obr. 34 Zápis hlavního programu v Polyscope .....	37
Obr. 35 Nastavení parametrů pro pohybovou funkci .....	38
Obr. 36 Definování waypointu .....	38
Obr. 37 Subrutina odebrání ložiska .....	39
Obr. 38 Zápis odebírací subrutiny v Polyscope .....	39
Obr. 39 Struktura subprogramu založení hřídele.....	40
Obr. 40 Zápis subrutiny založení hřídele v Polyscope .....	41

---

## Seznam tabulek

Tab. 1 Základní parametry robotu IRB120.....	15
Tab. 2 Základní parametry robotu UR3.....	20
Tab. 3 Rozsahy a rychlosti robotu UR3.....	21
Tab. 4 Technické parametry kontroléru robotu .....	22
Tab. 5 Technické parametry Optoforce HEX-E .....	23
Tab. 6 Technické parametry Afag EU-20.....	24
Tab. 7 Seznam komponent sestavy převodové skříně .....	28
Tab. 8 Technické parametry použitého indukčního snímače .....	30
Tab. 9 Hmotnosti prvků připojených na interface robotu.....	33
Tab. 10 Pozice těžišť efektoru .....	33
Tab. 11 Pozice TCP .....	34

## Úvod

Neustálý boj konkurenčních firem vede průmysl k častějšímu nasazování robotů ve výrobě. V dnešní době jsou objektem zájmu velkých, středních i malých podniků kolaborativní roboty. Každý větší dodavatel průmyslových robotů již má ve svém portfoliu výrobků vlastní řadu kolaborativních robotů.

Kolaborativní roboty umožňují díky sdílení svého prostoru s lidmi a intuitivnímu programování snadnou automatizaci sériové výroby.

Hlavním cílem této bakalářské práce je demonstrovat funkce a možnosti využití kolaborativního robota UR3 od firmy Universal Robots. Pro tyto účely navrhnout a realizovat komplexní úlohu a vytvořit návod pro práci s úlohou. Návod seznámí uživatele se základním nastavením a programováním robotu a využíváním hardwarových doplňků k robotu.

## 1 Demonstrační a výuková pracoviště s roboty

Tato kapitola se zabývá rešerší a popisem vybraných výukových a demonstračních pracovišť s roboty. Jsou zde definovány důvody vzniku těchto pracovišť.

Velké firmy zabývající se výrobou a distribucí robotů do průmyslu také poskytují komplexní školení k provozu svých výrobků. Tato školení většinou vyžadují mít fyzicky k dispozici konkrétního robota. Průmyslové roboty bývají zpravidla nasazovány v prostředí sériové výroby za účelem zvýšení výrobního taktu. Z tohoto důvodu není možné provádět školení na robotech aplikovaných do výroby. Proto vznikají speciální pracoviště s roboty, které jsou navrženy přesně pro potřeby školení.

### 1.1 Školící buňka ABB

Firma ABB nabízí své školící robotické pracoviště s robotem uvedeném na Obr. 1. Tato školící buňka je určena především pro školní instituce. Pracoviště je vybaveno řadou bezpečnostních prvků v souladu s platnými normami. Výhodou tohoto pracoviště je snadná instalace a následná manipulace ve vnitřních prostorách budov, jelikož pracoviště lze rozdělit na části. [1]



*Obr. 1 Školící robotické pracoviště ABB [1]*

Hlavním prvkem pracoviště je průmyslový 6-ti osý robot IRB120 řízený řídicím systémem IRC5. Robot je možné napájet standardním střídavým síťovým zdrojem napětí 230 V. Základní parametry robotu IRB120 jsou uvedeny v Tab. 1. Na přání zákazníka je možné rozšířit pracoviště dalšími prvky, mezi něž patří dopravníky, kamerové systémy, pneumatické prvky a další.

Tab. 1 Základní parametry robotu IRB120

Nosnost	3 kg
Maximální dosah	580 mm
Počet os	6
Stupně volnosti	6
Opakovatelná přesnost	0,01 mm
Počet digitálních vstupů	8
Počet digitálních výstupů	8

*Zdroj: Webové stránky firmy ABB [1]*

Firma ABB poskytuje k zakoupenému školicímu pracovišti roční licenci na simulační software RobotStudio. Tento software umožňuje off-line programování robotu a provádění přesné simulace navržených aplikací a technologií. [1]

## 1.2 Akademie Universal Robots

Obchodní strategie firmy Universal Robots je založena na prezentaci svých robotů jako prostředků k snadné automatizaci z důvodů jednoduchého programování. Firma na svých stránkách nabízí možnost online školení základního i pokročilého programování formou interaktivních lekcí Obr. 2. Výhodou tohoto školení je, že k němu není potřeba fyzicky vlastnit robota. [2]



*Obr. 2 Interaktivní lekce [2]*

Na webových stránkách firmy Universal Robots jsou k dispozici dvě online školení. Jedno školení je určeno pro starší sérii robotů CB3 a druhé je určeno pro nový typ e-Series. Online školení CB3 se skládá z 9 modulů, které na sebe logicky navazují. Školení e-Series je rozděleno do tří lekcí. První lekce se zabývá základy nastavení a programování robotu. Druhá lekce prohlubuje znalosti o programování a třetí lekce je zaměřena na nasazování robota na specifickou aplikaci.



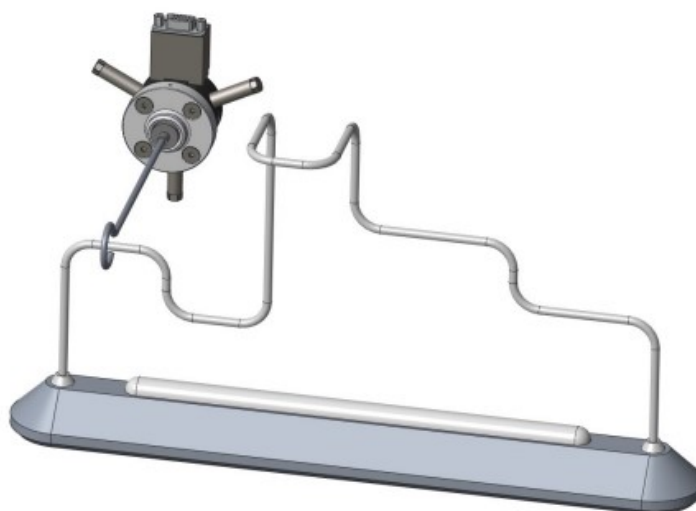
### 1.3 Školní pracoviště s robotem IRB140

Školící buňka ABB byla inspirací pro tvorbu katedrálního pracoviště s robotem IRB140 uvedeného na Obr. 3, na jehož vzniku se zásadně podílel Ing. Michal Vocetka. Pracoviště slouží k výuce studentů oboru Robotika. [3]



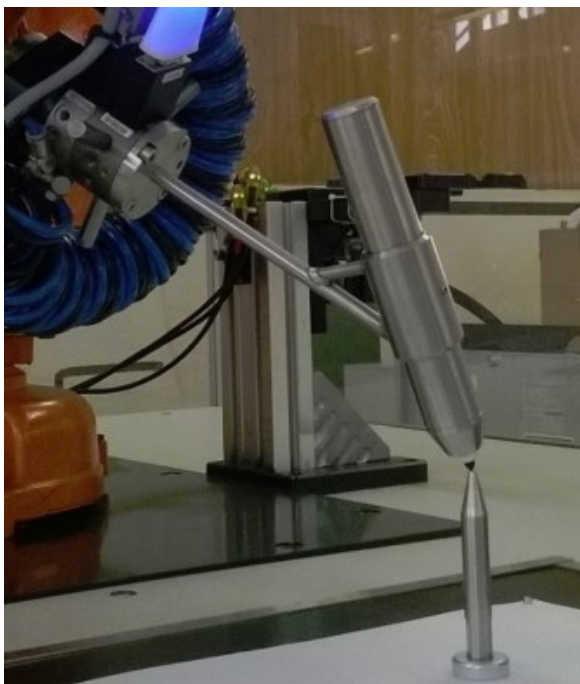
*Obr. 3 Školní pracoviště s IRB140 [3]*

V rámci diplomové práce zmíněného Ing. Michala Vocetky byly také navrženy výukové úlohy. Pro nácvik ručního ovládání robotu a uvědomění si rozdílu mezi jednotlivými souřadnými systémy slouží úloha „horký drát“ znázorněná na Obr. 4. Student ovládá robota a snaží se protáhnout smyčku uchycenou na efektoru robotu po dráze vytyčené drátem. V případě kontaktu smyčky a drátu se rozsvítí červené světlo.

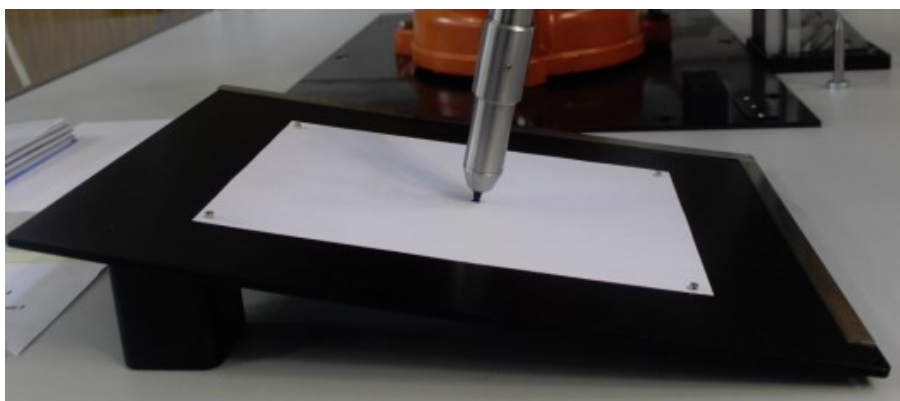


*Obr. 4 Úloha horký drát [3]*

K simulaci programování svařovacího robota byl navržen efektor s fixem na Obr. 5. Studenti se naučí na tomto efektoru definovat TCP (tool center point) a následně podle zadání vyučujícího vytváří programy, díky nimž robot kreslí obrazce na papír. Konstrukce efektoru je navržena tak, aby byly využity veškeré osy rotace robotu. Osa fixu by mohla být shodná s poslední osou robotu. To by však zapříčinilo, že poslední osa rotace robotu by byla nepotřebná. Úlohu je možné obohatit použitím navržené pracovní desky na Obr. 6, která zapříčiní vyosení souřadného systému robotu.



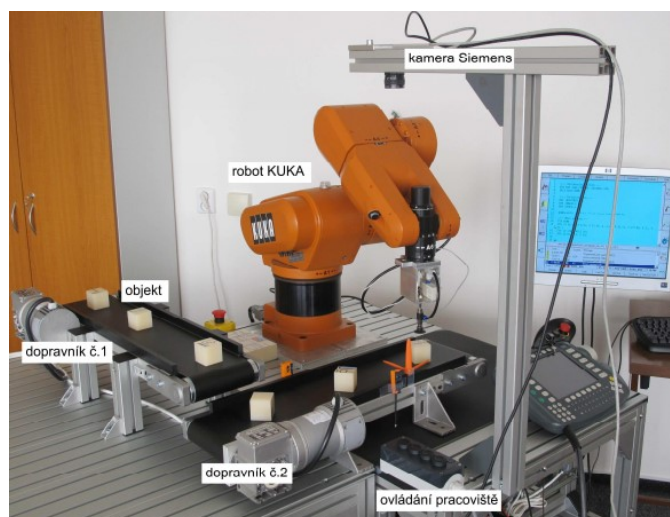
*Obr. 5 Kalibrace efektoru [3]*



*Obr. 6 Pracovní deska [3]*

## 1.4 Demonstrační úloha s robotem KUKA

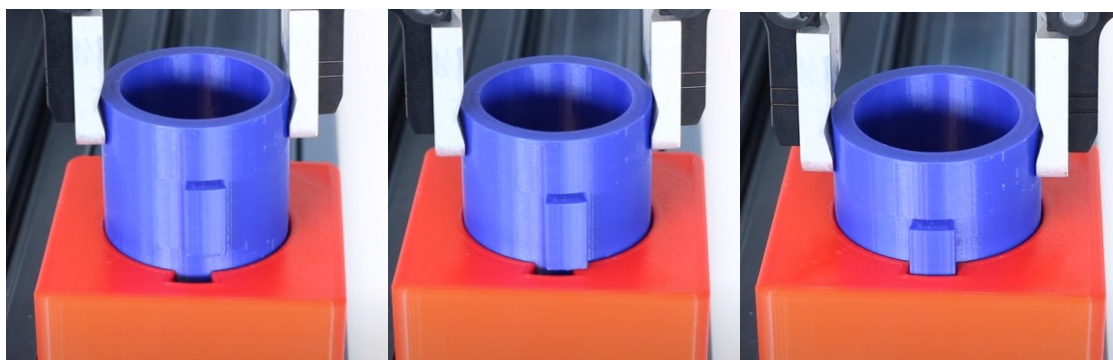
Příklad demonstrační úlohy s robotem KUKA je uveden na Obr. 7. Na dopravník č.1 je umístěn objekt. Dopravník přesune objekt na dopravník č.2. Pozice a orientace objektu na dopravníku č.2 je zcela náhodná. Ze snímků kamery umístěné nad dopravníkem je zjištěna orientace objektu. Optickým čidlem u dopravníku je zjištěna rychlost posuvu objektu. Na základě těchto dat robot sleduje objekt a uchopí jej. Uchopený objekt je naorientován a přenesen zpět na dopravník č.1.[4]



Obr. 7 Demonstrace úlohy s robotem KUKA [4]

## 1.5 Montážní úloha s force-torque senzorem

Na Obr. 8 je uveden příklad demonstrační úlohy robota s FT senzorem. FT senzor je využit pro detekci kolize. Robot na základě dat ze senzoru začne polohovat zasouvanou součást tak, aby bylo možné ji zasunout. [5]



Obr. 8 Montážní demonstrační úloha [5]

## 2 Pracoviště s robotem Universal Robots UR3

Tato kapitola se zabývá obecným popisem realizovaného pracoviště s robotem. Jednotlivé podkapitoly jsou dále věnovány podrobnému popisu použitého robotu a jeho příslušenství.

Na katedře robotiky je k dispozici již navržené a realizované pracoviště s robotem UR3 uvedené na Obr. 9. Základnu pracoviště tvoří konstrukce z ITEM profilů ze slitiny hliníku. Pro snadný přesun pracoviště je konstrukce umístěna na kolečkách. Na horní části stolu jsou ukotveny pomocí šroubů tři pracovní desky z hliníkové slitiny. Do desek jsou navrtány otvory se závity sloužící pro uchycení hardwarových komponent. Robot je uchycen na desce, která je součástí sklopného mechanismu. Tento mechanismus umožňuje během přesunu pracoviště robota uzavřít do konstrukce a chránit ho před případným poškozením. Uvnitř konstrukce je také umístěn kontrolér robotu. Robot je dále opatřen senzorem síly a kroutícího momentu a univerzálním efektozem. Z bezpečnostních důvodů je na pracovišti umístěno tlačítko nouzového zastavení.



*Obr. 9 Realizované pracoviště s robotem UR3*

## 2.1 Robot UR3

Robot UR3 na Obr. 10 je kolaborativní robot od firmy Universal Robots. Označením kolaborativní robot rozumíme robota schopného spolupracovat s člověkem ve sdíleném prostředí. Jedná se o nejmenšího robot z rodiny UR. Se svým užitečným zatížením 3 kg a s poloměrem dosahu 500 mm se používá především pro montáž drobných dílů a také u aplikací vyžadujících vysokou přesnost. Rodina UR obsahuje i varianty s užitečným zatížením 5 kg a 10 kg. [6]



*Obr. 10 Robot UR3 [6]*

V Tab. 2 jsou uvedeny základní parametry robotu UR3 použitého na pracovišti. Tab. 3 uvádí pracovní rozsahy a maximální rychlosti jednotlivých kloubů dle značení na Obr. 11.

*Tab. 2 Základní parametry robotu UR3*

Užitečné zatížení	3 kg
Poloměr dosahu	500 mm
Počet ramen	6
Stupně volnosti	6
Opakovatelná přesnost	$\pm 0,1$ mm
Počet digitálních vstupů	2
Počet digitálních výstupů	2
Příkon	Min. 90 W, typicky 125 W, max. 250 W
Hmotnost	11 kg
Krytí	IP64

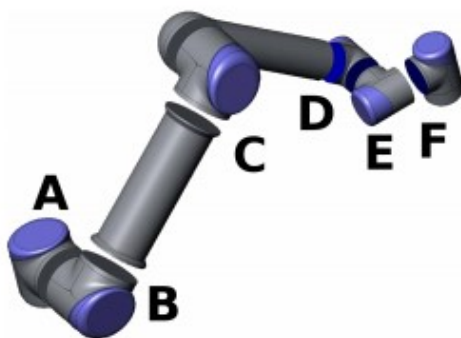
*Zdroj: Webové stránky výrobce [6]*



Tab. 3 Rozsahy a rychlosti robotu UR3

Pracovní osa	Značení	Pracovní rozsah	Maximální rychlost
Podstavec	A	$\pm 360^\circ$	$\pm 180^\circ/\text{s}$
Rameno	B	$\pm 360^\circ$	$\pm 180^\circ/\text{s}$
Loket	C	$\pm 360^\circ$	$\pm 180^\circ/\text{s}$
Zápěstí 1	D	$\pm 360^\circ$	$\pm 360^\circ/\text{s}$
Zápěstí 2	E	$\pm 360^\circ$	$\pm 360^\circ/\text{s}$
Zápěstí 3	F	nekonečný	$\pm 360^\circ/\text{s}$
Běžný nástroj	-	-	1 m/s

Zdroj: Webové stránky výrobce [6]



Obr. 11 Značení kloubů robotu [8]

## 2.2 Kontrolér robotu UR3

Na Obr. 12 lze vidět, že řídicí systém robotu UR3 je umístěn ve skříni. Robot je ovládán pomocí dotykového řídicího panelu tzv. Teach pendantu. Programování robotu probíhá v softwaru Polyscope pomocí dotykových tlačítek na řídicím panelu nebo v simulačním softwaru URSim. Mezi velkou výhodou tohoto robotu patří možnost pohybovat s robotem pomocí vlastní paže, při souvislém držení tlačítka pro tzv. freedrive. V Tab. 4 jsou uvedeny základní technické parametry kontroléru robotu. [6][8]



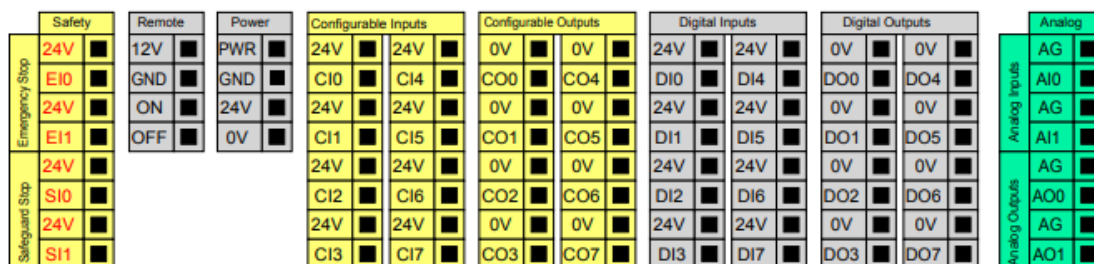
Obr. 12 Kontrolér s řídicím panelem [7]

Tab. 4 Technické parametry kontroléru robotu

Krytí	IP20
Digitální vstupy	16
Digitální výstupy	16
Analogové vstupy	2
Analogové výstupy	2
Napájení vstupů/výstupů	24 V, 2 A
Komunikace	TCP/IP 100Mbit, Modbus TCP, Profinet, EthernetIP
Napájecí zdroj	100-240 VAC, 50-60 Hz

*Zdroj: Webové stránky výrobce [6]*

Kontrolér je opatřen porty pro programovatelné logické vstupy a výstupy. Je tak možné k robotu připojit periferie a zařízení jako jsou například tlačítka nouzového zastavení, snímače či programovatelné logické automaty. Tyto vstupy a výstupy je možné napájet z vnitřního zdroje napájení nebo pomocí externího zdroje napájení. Na Obr. 13 je uvedeno uspořádání těchto portů. Žlutě označené porty s červeným popiskem jsou určeny pro bezpečnostní signály. Žluté porty s černým textem slouží k signálům pro účely bezpečnosti. V praxi se jedná například o signály z bezpečnostní optické brány. Šedé označení určuje porty pro víceúčelové digitální vstupy a výstupy a zelená barva označuje porty pro analogové vstupy a výstupy.[8]



Obr. 13 Uspořádání elektrického rozhraní ovládací jednotky [8]

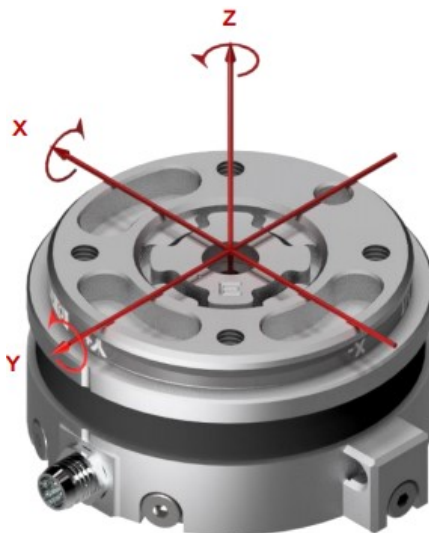
## 2.3 Senzor Optoforce HEX-E

K robotu je připojen senzor síly a kroutícího momentu Optoforce HEX-E uvedený na Obr. 14. Tento FT senzor je schopen snímat a měřit sílu a kroutící moment v 6-ti stupních volnosti. FT senzor je plně kompatibilní s robotem UR3 co se týče hardwarového připojení na interface robotu tak i softwarového spojení s prostředím skrze plugin pro polyscope. V praxi se tento senzor nejčastěji využívá pro kontrolu síly působící na efektor, detekci nárazu a při technologiích broušení a leštění pro dosažení požadovaného přitlaku nástroje. Základní technické parametry senzoru jsou uvedeny v Tab. 5. [10]

Tab. 5 Technické parametry Optoforce HEX-E

Rozměry	Ø 70 x 35 mm
Hmotnost	260 g
Napájení	DC 7-24 V
Nominální měřicí rozsah sil v jednotlivých osách $F_x$ , $F_y$ , $F_z$	$\pm 200$ N
Nominální měřicí rozsah kroutícího momentu vzhledem k osám $T_x$ , $T_y$	$\pm 10$ Nm
Nominální měřicí rozsah kroutícího momentu vzhledem k ose $T_z$	$\pm 6,5$ Nm
Maximální přetížitelnost jedné osy	500 %
Rozsah pracovní teploty	0 až 55 C°

Zdroj: Technický list Optoforce HEX-E [10]



Obr. 14 FT senzor Optoforce HEX-E [10]



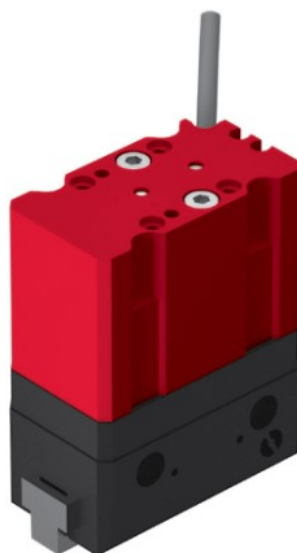
## 2.4 Efektor Afag EU – 20

Poslední přídavná komponenta na robotu je univerzální efektor s elektrickým pohonem Afag EU-20 na Obr. 15. Ten je připojen na FT senzor přes redukci. Na efektor lze pomocí čtyř šroubů M4 připojit uchopovací prvky. Tyto prvky poté konají přímočarý pohyb. Základní technické parametry efektoru jsou uvedeny v Tab. 6. [11]

Tab. 6 Technické parametry Afag EU-20

Hmotnost	0,161 kg
Doba uchopení	180 ms
Rozevření	2x4 mm
Síla uchopení	40 N
Operační napětí	DC 24 V
Nominální proud	40 mA
Špičkový proud	900 mA
Počet digitálních vstupů	1
Počet digitálních výstupů	2

Zdroj: Technický list Afag EU-20 [11]



Obr. 15 Efektor Afag EU-20 [11]

### 3 Demonstrační úloha

V této kapitole je podrobně popsána úloha, která byla navržena pro demonstraci funkcí a možností robota UR3 s využitím FT senzoru. Jednotlivé podkapitoly se zabývají popisem montážní úlohy, navrženého hardwaru a programu robotu.

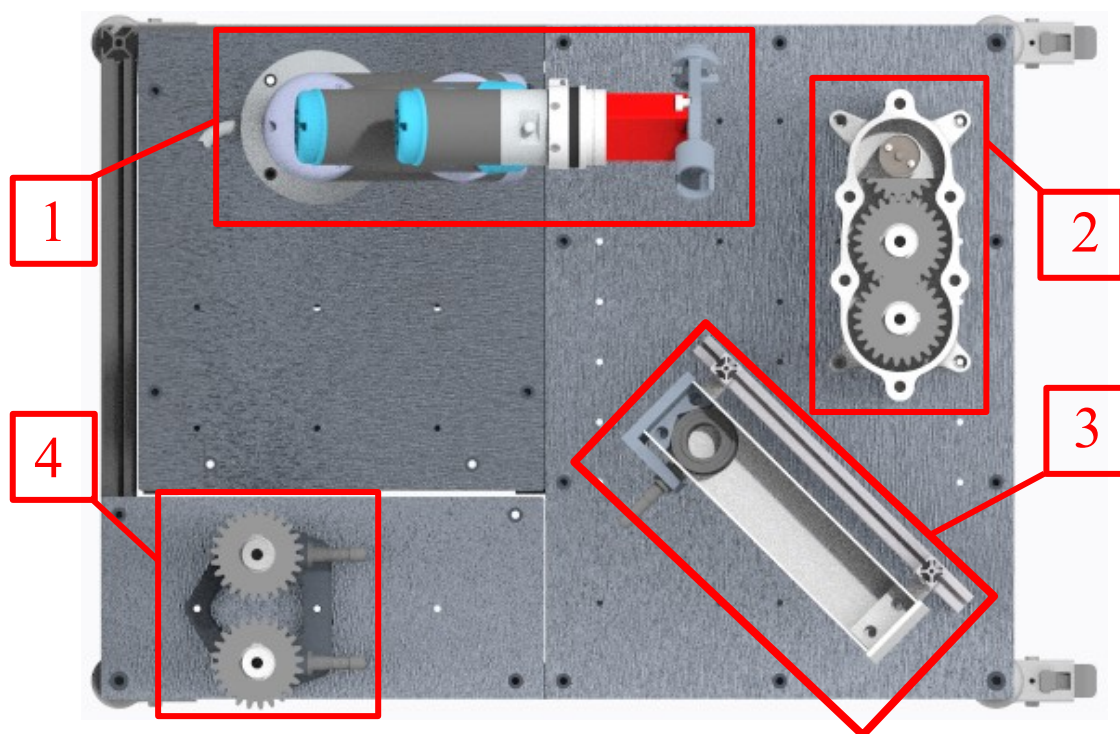
#### 3.1 Montážní úloha převodovky

Pro demonstraci aplikace robota UR3 s využitím FT senzoru byla navržena montážní úloha převodovky. Úloha bude také sloužit k výuce studentů a bližšímu seznámení se s programovacím prostředím Polyscope. Pro tyto případy byl vypracován podrobný návod do cvičení, viz Příloha A.

Cílem úlohy je naučit se:

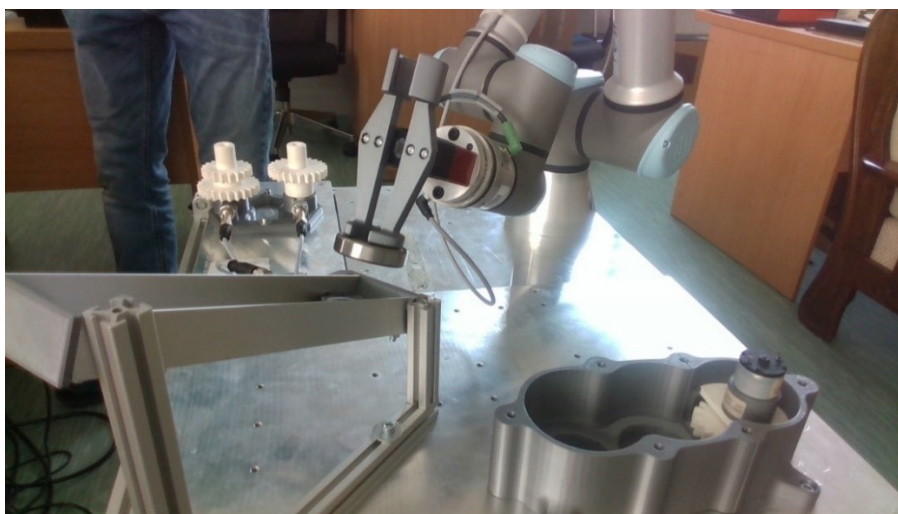
- základnímu nastavení robota UR3,
- jednotlivým základním pohybovým a pokročilým logickým funkcím,
- využívat funkce FT senzoru v montážních operacích,
- práci s logickými vstupy a výstupy.

Princip úlohy spočívá v montáži dílů robotem. Obdoba této aplikace se běžně vyskytuje v průmyslu. Na Obr. 16 je znázorněno rozvržení pracoviště a umístění jednotlivých hardwarových komponent. Na pracovišti je umístěn robot s FT senzorem a čelistmi pro uchopení hřídele a ložiska - 1, převodová skříň - 2, zásobník ložisek - 3 a přípravek pro založení hřídelů s ozubenými koly - 4.



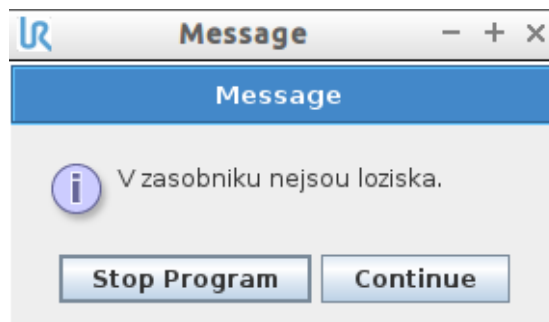
Obr. 16 Rozvržení hardwarových komponent na pracovišti

V prvním kroku se rameno robotu přemístí nad zásobník s ložisky. Pokud se ložisko v zásobníku nachází, robot ho uchopí, přemístí nad převodovou skříň a lineárním pohybem založí do první pozice. Následně je tento krok proveden i s druhým ložiskem.



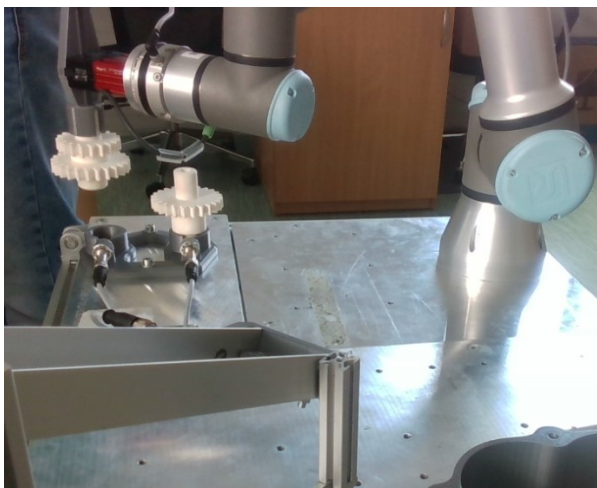
*Obr. 17 Odebrání ložiska ze zásobníku*

Přítomnost ložiska v zásobníku je detekována pomocí indukčního snímače. V případě prázdného zásobníku je operátor upozorněn dialogovým oknem na Obr. 18 na displeji ovládacího panelu k doplnění ložisek.

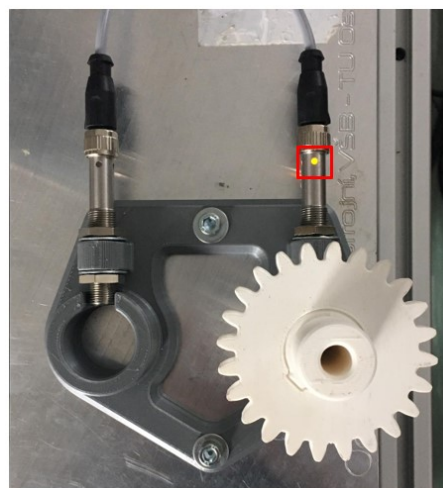


*Obr. 18 Upozornění operátora*

Jakmile jsou ložiska založena, provede robot další krok. Na Obr. 19 je znázorněno přesunutí ramene robotu k přípravku a odebrání první hřídele. Přítomnost hřídelů v přípravku je detekována indukčními snímači. Na Obr. 20 je znázorněna vizualizace přítomnosti pomocí LED diody. Na nepřítomnost hřídelů v přípravku je operátor opět upozorněn dialogovým oknem.

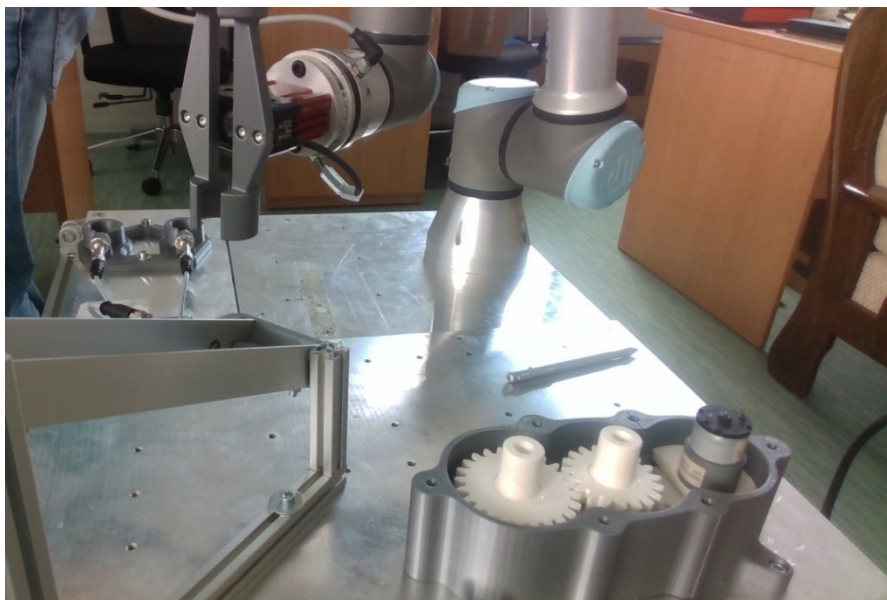


*Obr. 19 Odebrání hřídele robotem*



*Obr. 20 Vizuální signalizace přítomnosti hřídele*

Po přesunutí hřídele z přípravku nad montážní pozici začne robot lineárním pohybem zasouvat hřídel do skříně. Při návrhu úlohy bylo počítáno s tím, že robotu nebude známo aktuální natočení hřídele. Je velmi pravděpodobné, že při zasouvání dílů dojde ke kolizi mezi zuby kol. Tento problém je ošetřen pomocí FT senzoru a příslušné sekvence v programu. V blízkosti možné kolize je sledována síla působící na efektor. Zvýšení síly signalizuje kolizi. V programu proběhne sekvence příkazů, při níž se robot opětovně pokouší založit díl a při každém pokusu mírně pootočí s hřídelí. Po úspěšném založení první hřídele provede robot obdobný krok i pro druhou hřídel. Úspěšná montáž převodové skříně je uvedena na Obr. 21.



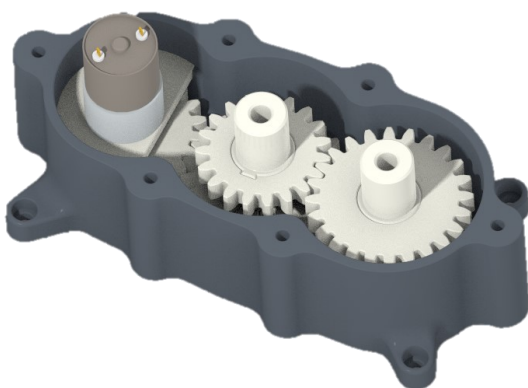
*Obr. 21 Stav pracoviště po úspěšné montáži*

## 3.2 Popis hardwarových komponent úlohy

Při návrhu demonstrační úlohy bylo dbáno na to, aby peněžní částka vynaložená na realizaci úlohy byla minimální. Z tohoto důvodu byly použity komponenty, které byly zakoupeny již dříve. Pro další úspory byla také využita technologie 3D tisku.

### 3.2.1 Sestava převodové skříně

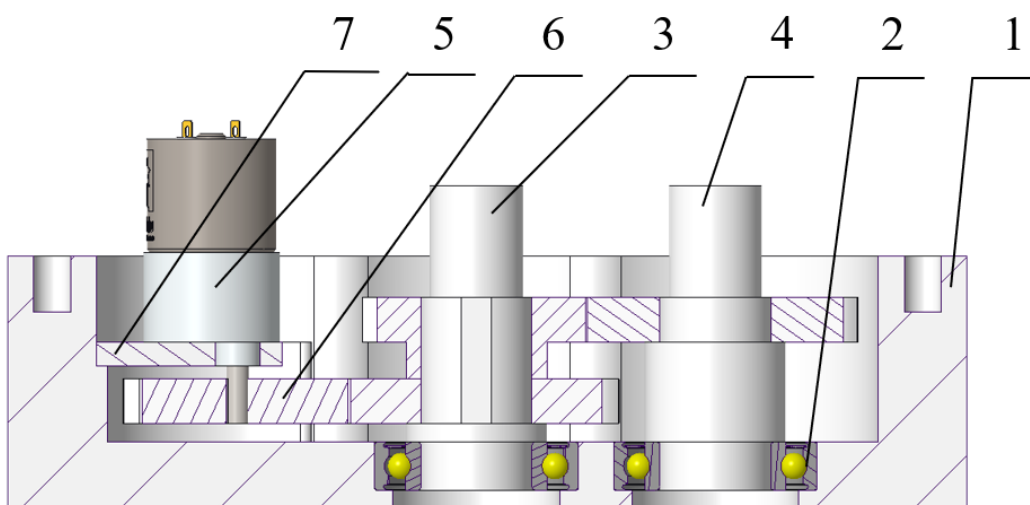
Převodovka byla navržena jako třístupňová. Seznam veškerých komponent je uveden v Tab. 7. a znázorněn na Obr. 23. Převodová skříň, hřídele a ozubená kola byly vytištěny na 3D tiskárně. Hřídele byly opatřeny kovovými prvky, aby je bylo možné detekovat za pomoci indukčních snímačů.



Pozice	Název položky	Počet kusů
1	Převodová skříň	1
2	Ložisko	2
3	Hřídel s ozubením 1	1
4	Hřídel s ozubením 2	1
5	Motor Pololu	1
6	Ozubené kolo	1
7	Držák motoru	1

Obr. 22 Sestava převodové skříně

Tab. 7 Seznam komponent sestavy převodové skříně

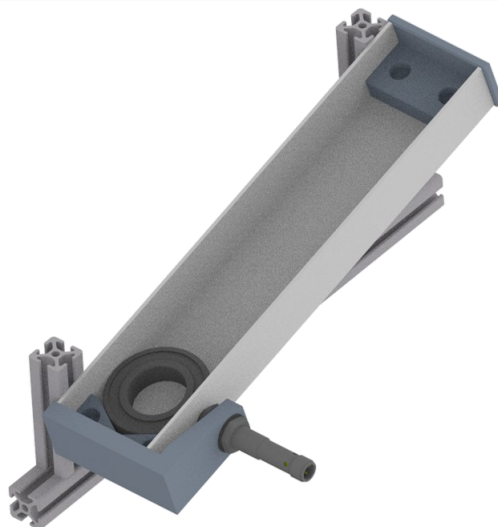


Obr. 23 Řez sestavou převodové skříně



### 3.2.2 Zásobník ložisek

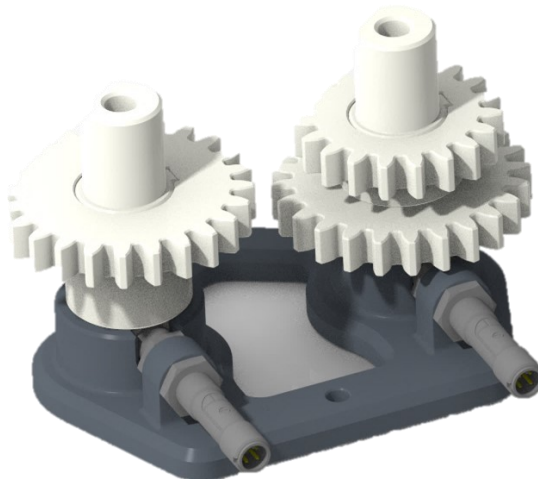
Pro snadné odebrání ložisek robotem byl navržen skluzový zásobník ložisek na Obr. 24. Zásobník je tvořen dvěma profily L 30x30x2 z hliníkové slitiny. Profily jsou spojeny zarážkami, které byly vytištěny na 3D tiskárně. Spodní zarážka je opatřena prizmatickou drážkou. Díky tomuto je zajištěna přesná poloha ložiska při odebrání. Na spodní zarážku je přišroubován indukční snímač k detekci ložiska. Skluz je upevněn na konstrukci z ITEM profilů pomocí šroubů a ITEM matic. Konstrukce umožňuje snadnou změnu úhlu skluzu. Zásobník ložisek je uchycen na desce stolu pomocí šroubů. [13]



Obr. 24 Skluzový zásobník ložisek

### 3.2.3 Přípravek pro založení hřídelů

Pro založení hřídelů byl navržen přípravek na Obr. 25. Konstrukce přípravku umožňuje založit hřídel variabilně vzhledem k ose otáčení hřídele. Tento prvek konstrukce následně umožňuje demonstrovat funkce FT senzoru při montáži hřídele. Přípravek byl vyroben technologií 3D tisku. Součástí přípravku jsou indukční snímače umožňující detekci založení hřídele.



Obr. 25 Přípravek pro založení hřídelů

### 3.2.4 Zapojení indukčních snímačů

Demonstrační úloha obsahuje celkem 3 indukční snímače BES 516-118-S4-C od firmy Balluff uvedené na Obr. 26. Základní technické údaje o snímači jsou uvedeny v Tab. 8.



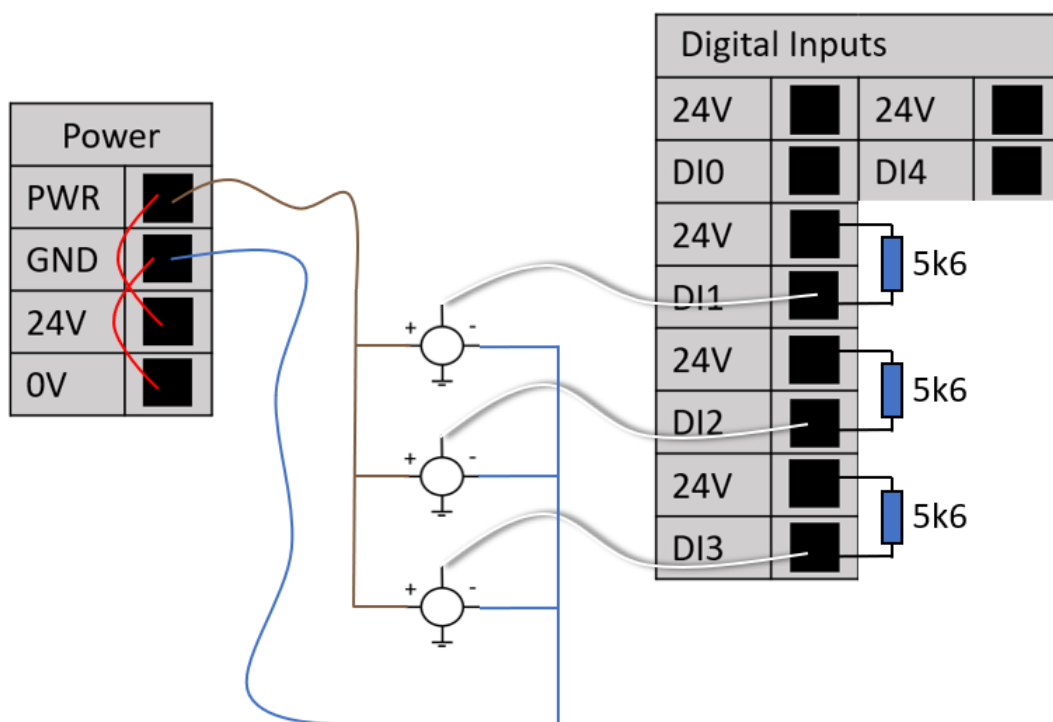
Obr. 26 Indukční snímač [14]

Tab. 8 Technické parametry použitého indukčního snímače

Rozměry	Ø 12 x 70 mm
Rozměry závitu	M12x1
Jmenovitá spínací vzdálenost	2 mm
Spínací výstup	NPN spínací/rozpínací kontakt
Jmenovité provozní napětí	DC, 24 V
Jmenovitý provozní proud	200 mA
Krytí	IP 68
Provozní teplota	-40 až 85 °C
Připojení	M12x1 konektor, 4 pólový, A kódovaný

Zdroj: Webové stránky výrobce [14]

Z použitých snímačů jsou vyvedeny 4 vodiče. Spínaný objekt má svůj výstup oddělen od napájecích svorek. Snímače jsou provedeny jako rozpínací NPN. Spínaná zátěž je připojena mezi kladný pól zdroje a příslušný ovládací vývod. Provedení zapojení snímačů je uvedeno na Obr. 27. Kladný pól zdroje (PWR) je spojen pomocí hnědého vodiče s kladnou napájecí svorkou snímače. Záporná napájecí svorka je poté připojena pomocí modrého vodiče na zem (GND). Ovládací vývod NC (normally closed) je přiveden skrze bílý vodič na příslušnou svorku digitálního logického vstupu (DI). Ovládací vývod NO (normally open) není využit a je zaslepen. Červené vodiče znázorněné na schématu naznačují, že digitální vstupy (zdířky na pravé straně schématu) jsou napájeny z vnitřního 24 V zdroje napájení kontroléru. [12]

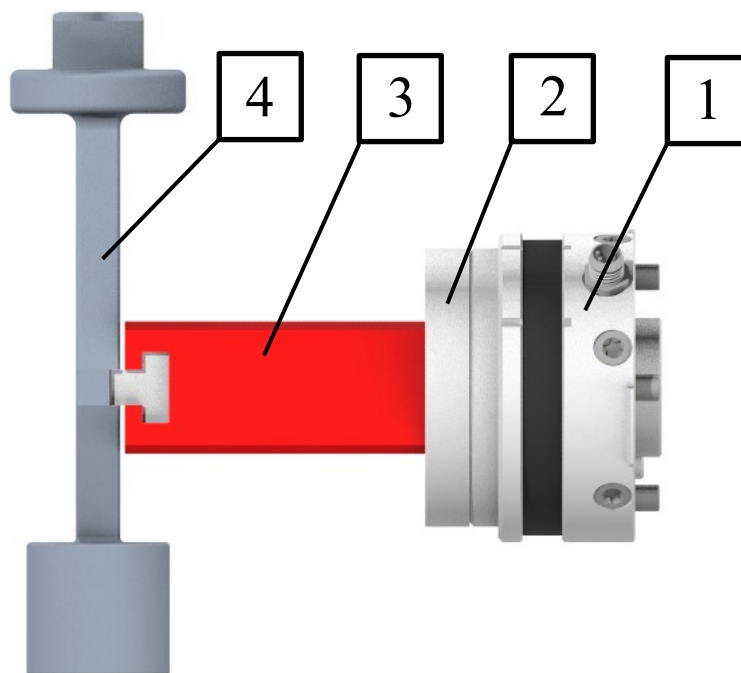


Obr. 27 Schéma zapojení indukčních snímačů

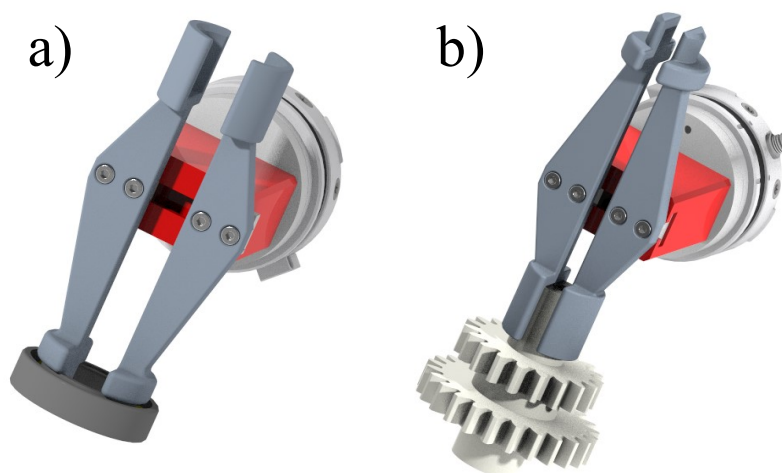


### 3.2.5 Struktura efektoru

Pro manipulaci s ložisky a hřídeli byla navržena struktura efektoru dle Obr. 28. Byly použity prvky popsané v 2. kapitole a k nim navrženy kombinované čelisti. Jedna strana čelistí slouží k uchopení ložiska a druhá k uchopení hřídelů. Toto je znázorněno na Obr. 29. Čelisti byly vyrobeny z materiálu PLA pomocí technologie 3D tisku.



Obr. 28 Struktura efektoru 1-FT senzor, 2-redukce, 3-elektrický pohon, 4-čelisti



Obr. 29 Uchopení komponent převodovky a-ložisko, b-hřídel

Pro další potřeby, popsané dále v práci, bylo nutné určit výslednou polohu těžiště všech prvků připojených na interface robotu vzhledem k souřadnému systému interface robotu. Pro tyto účely byl vytvořen v 3D modelu efektoru nový souřadný systém odpovídající souřadnému systému interface robotu.

Z technických listů použitých součástí byly zjištěny jejich hmotnosti. Pro kontrolu byly součásti zváženy pomocí digitální kuchyňské váhy. Zde byla zjištěna určitá odchylka hmotností, která mohla být způsobena především hmotností kabeláže a šroubů. Ovšem hmotnost efektoru Afag EU-20 naprosto neodpovídala hmotnosti vyčtené z technického listu. Výsledné hodnoty hmotností přiřazené 3D modelům jsou uvedeny v Tab. 9.

*Tab. 9 Hmotnosti prvků připojených na interface robotu*

FT senzor	255 g
Efektor Afag EU-20	263 g
Redukce	84 g
Čelisti	42 g
Hřídel	85 g
Ložisko	111 g

Pozn.: Rozdíl mezi hmotnostmi jednotlivých hřídelů je zanedbatelný, a proto je uchopení jedné či druhé hřídele považováno za jeden stav.

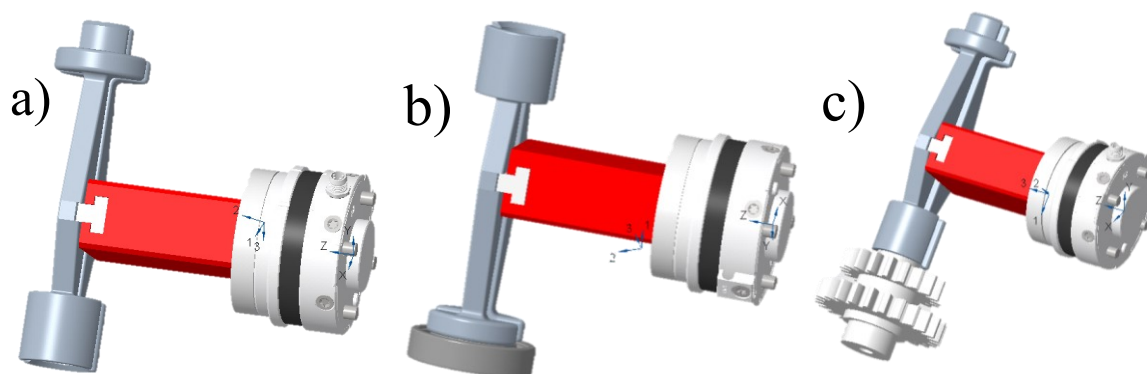
Z 3D modelu byly následně odečteny tři polohy těžiště:

- efektoru bez OM,
- efektoru s uchopeným ložiskem,
- efektoru s uchopenou hřídelí.

Výsledné pozice těžišť jsou uvedeny v Tab. 10 a znázorněny na Obr. 30.

*Tab. 10 Pozice těžišť efektoru*

<b>Pozice vůči ose</b>	<b>Efektor bez OM</b>	<b>Efektor s ložiskem</b>	<b>Efektor s hřídelem</b>
<b>X</b>	-13,25 mm	-19,47 mm	-4,28 mm
<b>Y</b>	0,46 mm	8,56 mm	-7,02 mm
<b>Z</b>	42,52 mm	54,13 mm	51,72 mm

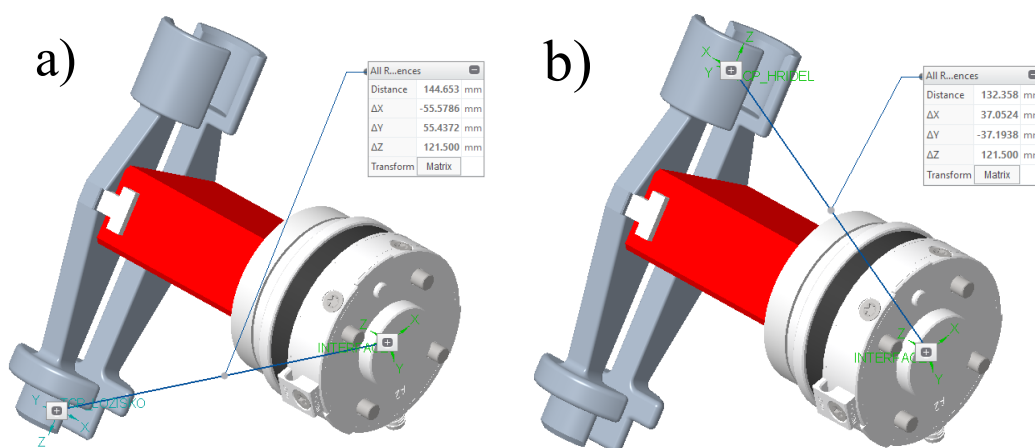


Obr. 30 Poloha těžišť efektoru a-bez OM, b-s ložiskem, c-s hřídelí

Model byl také použit k určení pozice dvou referenčních bodů nástroje tzv. TCP (z angl. tool center point). Pozice těchto bodů byla opět určena k nově vytvořenému souřadnému systému, zapsána do Tab. 11 a znázorněna na Obr. 31.

Tab. 11 Pozice TCP

Pozice vůči ose	Pozice TCP pro ložisko	Pozice TCP pro hřídel
<b>X</b>	-55,5786 mm	37,0524 mm
<b>Y</b>	55,4372 mm	-37,1938 mm
<b>Z</b>	121,5 mm	121,5 mm



Obr. 31 Poloha TCP a-pro ložisko, b-pro hřídel

### 3.3 Program robotu

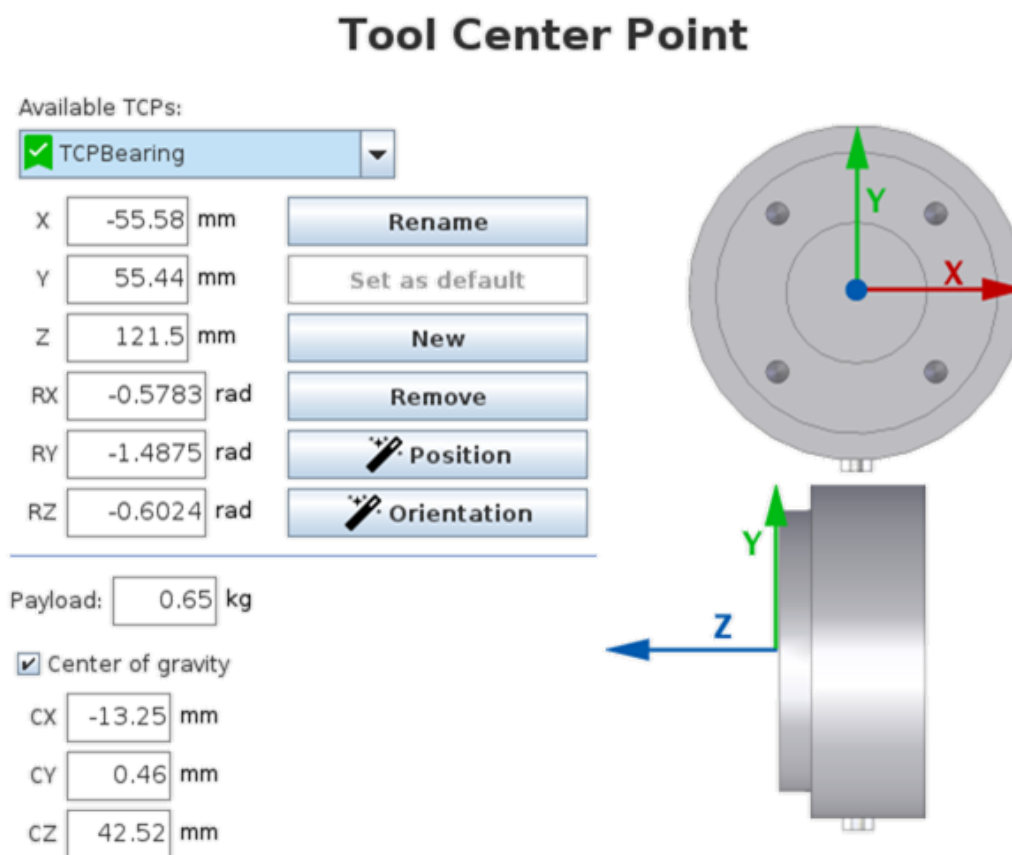
V této podkapitole je popsán program robotu. Začátek kapitoly je věnován základnímu nastavení robotu a popisu implementace potřebných dat pro správnou funkci robotu. Následně je pomocí vývojových diagramů popsána funkce programu. Program robotu je součástí práce a je uveden v příloze C.

#### 3.3.1 Bezpečnostní nastavení

Pro demonstrační úlohu byla vytvořena kopie souboru installation, která byla následně upravena podle potřeby. Soubor installation obsahuje data o TCP, bezpečnostním nastavení robotu, jeho montážní poloze, globálních proměnných a elektrickém zapojení připojených zařízení.

#### 3.3.2 Nastavení TCP

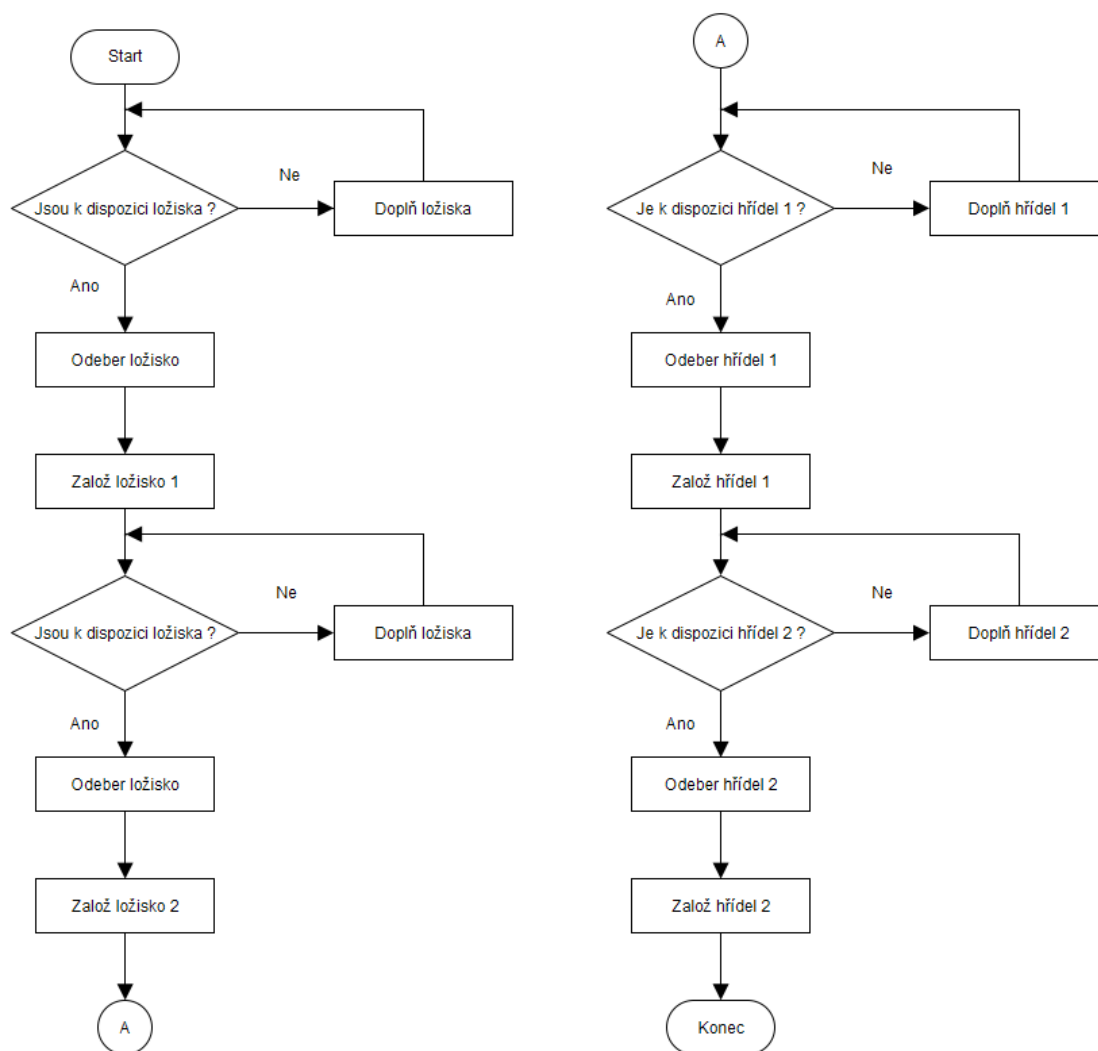
TCP je počátek souřadnicového systému nástroje. Tento bod je zadán svou polohou pomocí souřadnic X, Y, Z a orientací pomocí souřadnic RX, RY, RZ. V případě efektoru pro navrženou aplikaci bylo nutné definovat tyto body dva. U robotů od firmy Universal Robots je současně při definici TCP možné definovat i aktuální hmotnost OM a těžiště OM. Na Obr. 32 je uvedeno nastavení parametrů pro stav, kdy je referenční bod nástroje vztažen k čelistem pro uchycení ložiska. Postup získání parametrů je uveden v kapitole 3.2.5. Souřadnice RX, RY, RZ byly získány pomocí softwarového nástroje v prostředí Polyscope.



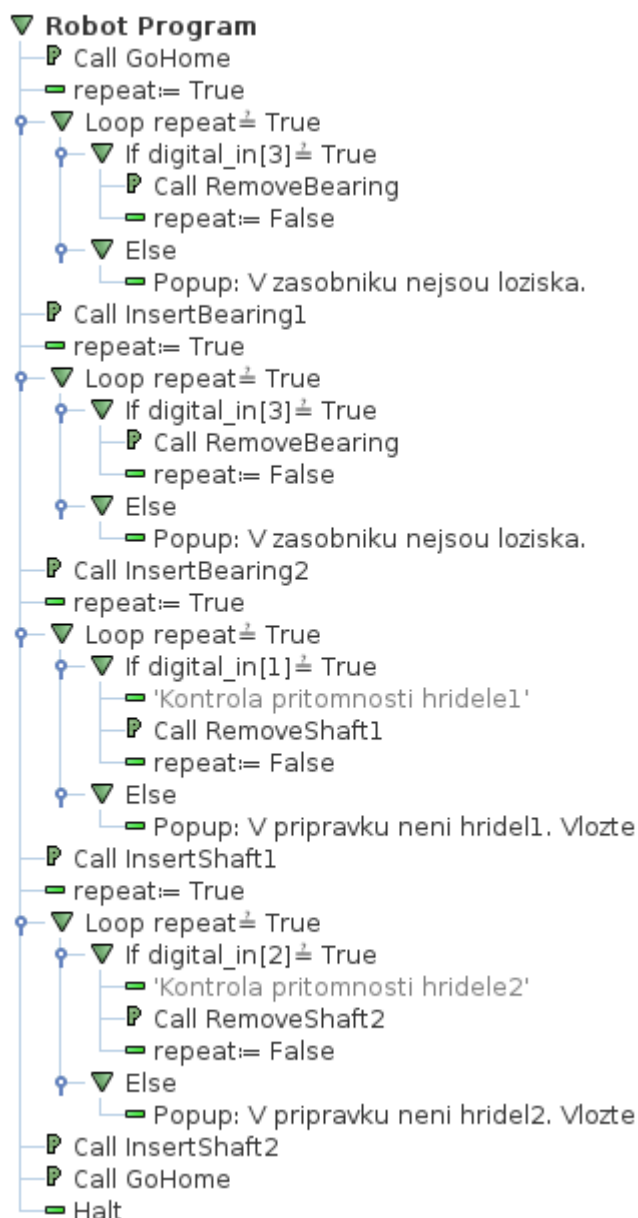
Obr. 32 Nastavení parametrů TCP

### 3.3.3 Hlavní program

Hlavní program robotu volá několik sekvencí tzv. subrutin. Subrutina je podprogram, který má svou strukturu definovanou mimo hlavní program. Jedna subrutina představuje jeden dílčí úkon robotu. Struktura hlavního programu vyplývá z diagramu na Obr. 33. Hlavní program také pracuje s logickými vstupy ze senzorů a na základě jejich hodnot řídí spuštění subrutiny. Zápis hlavního programu v prostředí Polyscope je uveden na Obr. 34.



Obr. 33 Struktura hlavního programu



Obr. 34 Zápis hlavního programu v Polyscope

### 3.3.4 Pohybová operace

Pro jednoduché pohybové operace jsou v programu použity pohybové funkce MoveJ a MoveL. Pohybové funkce slouží k definování pohybu robotu mezi jednotlivými průjezdovými body tzv. waypoints. Funkci je nutné nastavit požadované TCP, rychlost a zrychlení kloubů či nástroje a jednotlivé průjezdní body. Pomocí funkce MoveJ se robot nástrojem pohybuje skrze průjezdní body energeticky nejméně náročnou cestou. Během vykonávání funkce MoveL se referenční bod nástroje pohybuje mezi průjezdními body po přímce. Na Obr. 35 je uveden příklad nastavení pohybové funkce.

Obr. 35 Nastavení parametrů pro pohybovou funkci

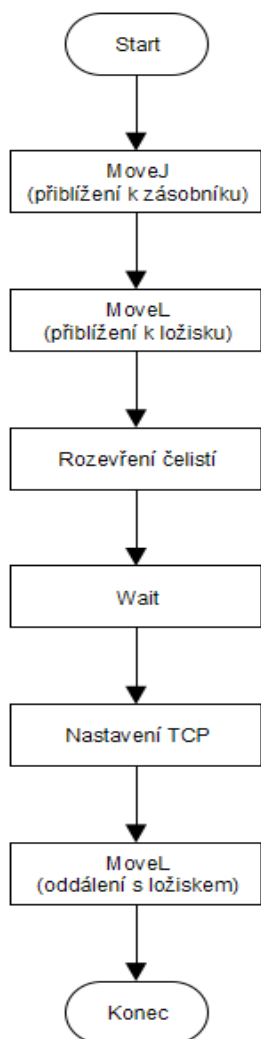
Waypointům je potřeba nastavit jejich pozici v prostoru. Dále je možné definovat tzv. blend. Blend si lze představit jako prostor ve tvaru koule. Pokud je blend definován, nástroj nemusí protnout při průjezdu definovaný bod, ale pouze prostor kolem tohoto bodu. Toto umožňuje robotu projet bodem rychleji. Pro příklad je na Obr. 36 uvedeno nastavení waypointu PAboveMagazine. Pozice bodu byla definována tlačítkem Set Waypoint. Robot se do tohoto bodu pohybuje rychlostí a zrychlením nastaveným v pohybové funkci a bod protne.

Obr. 36 Definování waypointu

Většina pohybových operací je v programu naprogramována následujícím způsobem. Pro rychlý přesun mezi vzdálenými body, kdy nehrozí kolize robotu s překážkou je použita funkce MoveJ. Nájezd do odebíracích a vkládacích pozic je pak uskutečněn pomocí funkce MoveL.

### 3.3.5 Subrutina odebrání

Program obsahuje celkem tři odebrací subrutiny (odebrání ložiska, odebrání první hřídele a odebrání druhé hřídele). Jelikož vykonávají téměř totožné operace je jejich funkce popsána pouze na subrutině odebrání ložiska. Struktura subrutiny odpovídá diagramu na Obr. 37. Na Obr. 38 je uvedena forma zápisu programu v prostředí Polyscope.



Obr. 37 Subrutina odebrání ložiska



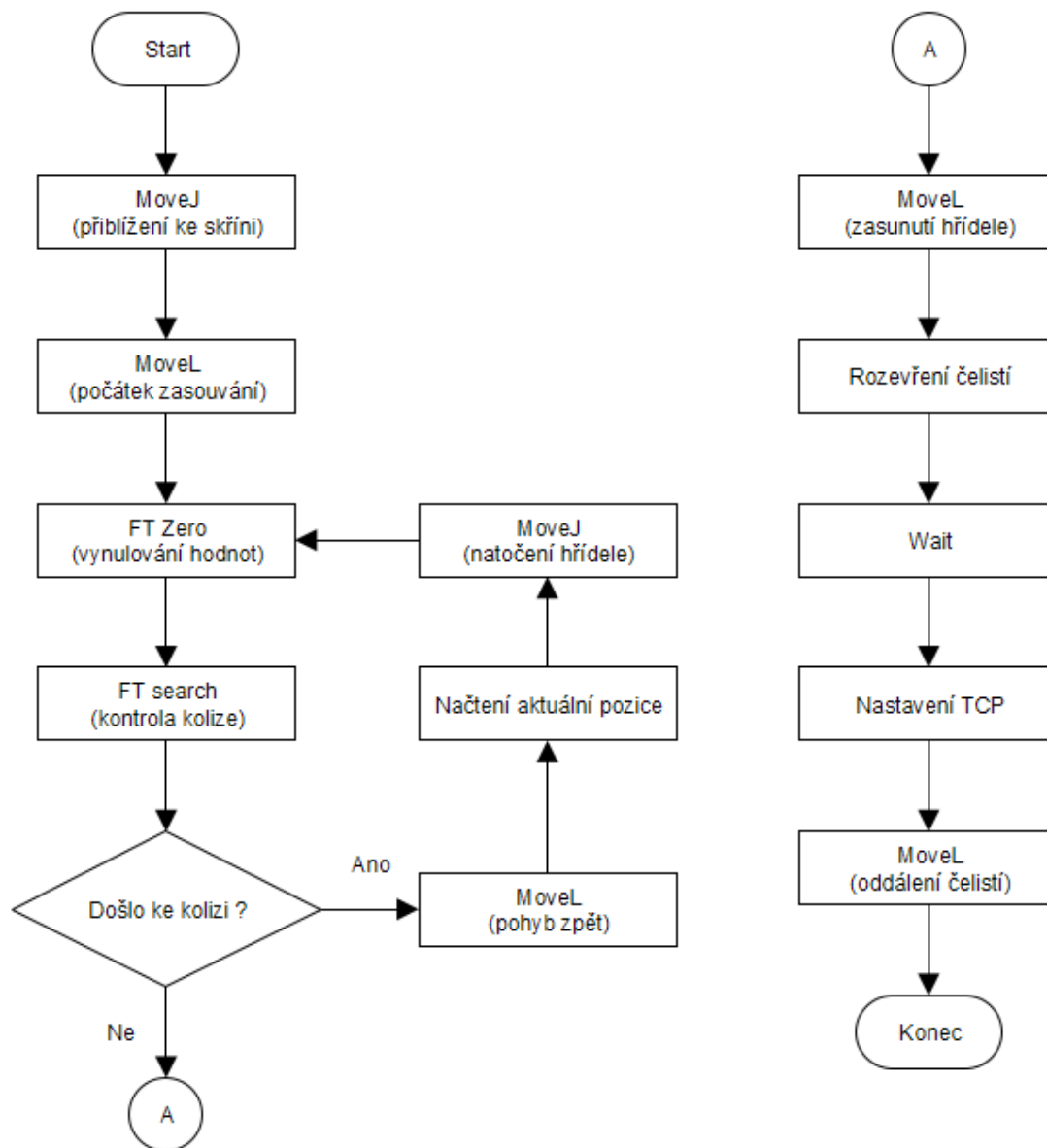
Obr. 38 Zápis odebrací subrutiny v Polyscope

### 3.3.6 Subrutina založení hřídele

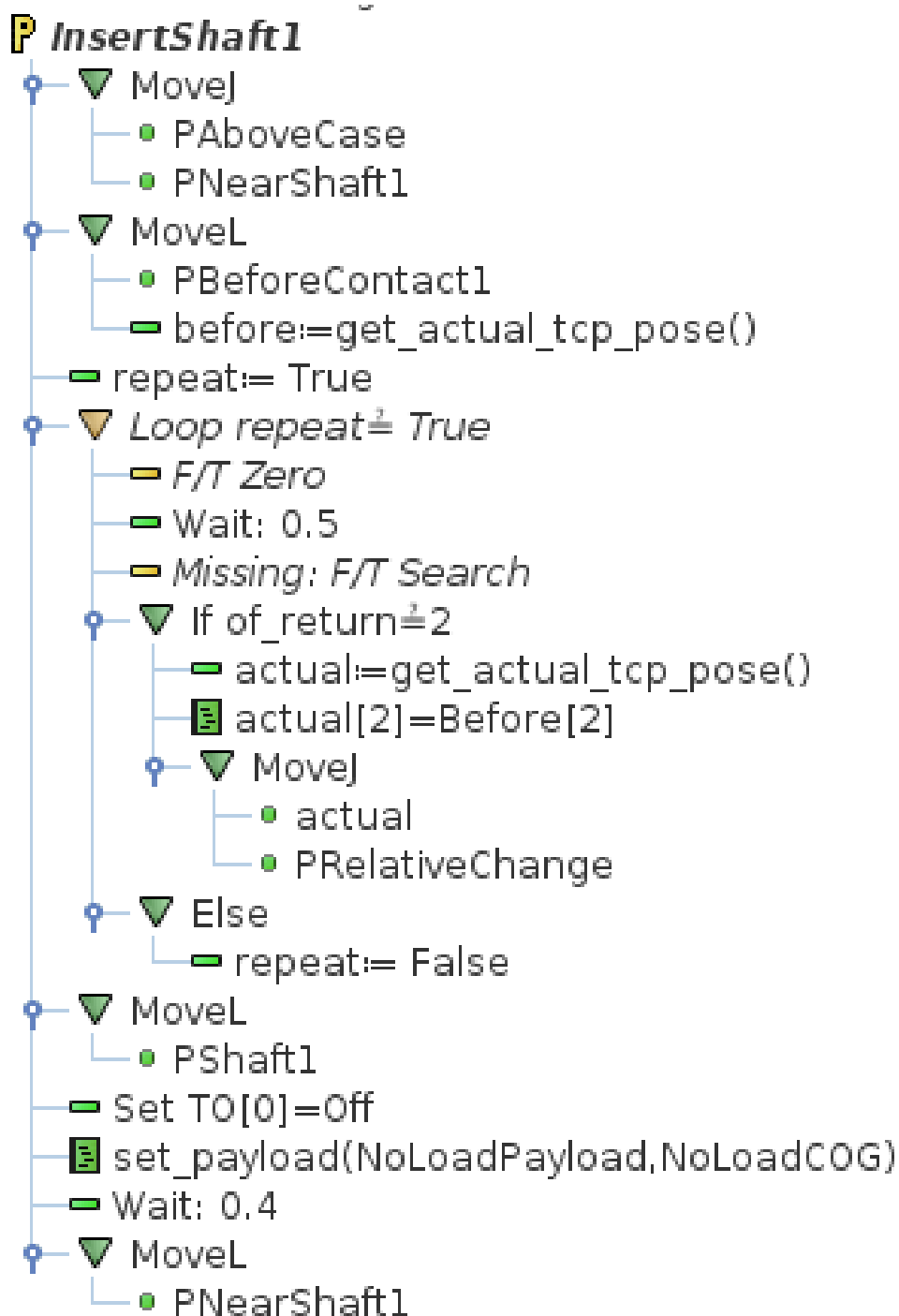
V subrutině založení hřídele jsou využity dvě funkce FT senzoru. Funkce FT Zero provede kalibraci aktuálního zatížení FT senzoru na nulovou hodnotu. Funkce FT Search kontroluje, zda nejsou překročeny předem nastavené hodnoty síly a kroutícího momentu. Výstupem funkce je proměnná of\_return, již je přiřazena hodnota na základě toho, zda byly nebo nebyly překročeny nastavené limity. Robot se s uchopenou hřídelí přiblíží pomocí funkce MoveJ k převodové skříně. Pomocí funkce MoveL ji začne zakládat do ložiska. V případě kolize je hřídel oddálena, pootočená a opětovně zakládána. Tato sekvence je



opakována, dokud není hřídel úspěšně vložena do ložiska. Po úspěšném založení hřídele jsou uvolněny čelisti efektoru a rameno robotu se přesune mimo skříň. Struktura subprogramu je znázorněna na Obr. 39 a na Obr. 40 je uvedena forma zápisu subrutiny v prostředí Polyscope. [9]



Obr. 39 Struktura subprogramu založení hřídele



Obr. 40 Zápis subrutiny založení hřídele v Polyscope

## Závěr

V úvodu práce byla provedena rešerše demonstračních a výukových pracovišť a analýza realizovaného pracoviště s robotem Universal Robots UR3. Byly detailně popsány prvky pracoviště včetně aplikovaného robota a jeho příslušenství.

Na základě analýzy realizovaného pracoviště a úvodní rešerše byla navržena komplexní úloha montáže převodové skříně demonstrující možnosti robotu UR3 s využitím FT senzoru. Byla navržena sestava převodové skříně. Následně byl navržen přípravek pro založení hřídelů a zásobník ložisek. Nakonec byly navrženy kombinované čelisti pro uchopení hřídele a ložiska. Návrh dokládají 3D modely (Příloha B), které byly využity pro výrobu zmíněných komponent úlohy. Podstatná část dílů byla realizována pomocí 3D tisku. Zbylé komponenty nebylo nutné zakupovat, jelikož se již při jejich návrhu počítalo s použitím skladových zásob katedry. Po úspěšné výrobě dílů a aplikování navrženého hardwaru úlohy na realizované pracoviště byl vytvořen program robotu v simulačním prostředí URSim. Tento program (Příloha C) byl následně nahrán do robotu a odladěn. V práci byla navržená úloha podrobně popsána.

K vytvořené úloze byl vytvořen návod do cvičení (Příloha A). Na začátku návodu je uveden krátký popis úlohy a poté následuje série pokynů doplněná obrázky a vysvětlivkami. Student by se měl po úspěšném naprogramování úlohy naučit základnímu nastavení robotu UR3, programování v prostředí Polyscope, práci s logickými vstupy a výstupy a využívat funkce FT senzoru.

## Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval panu Ing. Aleši Vysockému, Ph.D. za poskytnuté konzultace a pomoc při realizaci demonstrační úlohy ve ztížených podmínkách v období pandemie nemoci Covid-19. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu po celou dobu studia.

## Seznam použité literatury

- [1] Školící buňka ABB [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/czech-local/skolici-bunka>
- [2] Universal Robots Academy [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://academy.universal-robots.com/cs>
- [3] VOCETKA, Michal. Výukové pracoviště s průmyslovým robotem ABB IRB 140 [online]. Ostrava, 2018 [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/129724>. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [4] SELINGEROVÁ, Simona. Systémy průmyslového vidění s roboty Kuka a jeho aplikace na synchronizaci pohybu robotu s pohybujícím se prvkem [online]. Brno, 2010 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/16915>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Aleš Pochylý.
- [5] Montážní úloha s FT senzorem [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=gybeOY6PiFs>
- [6] Robot UR3 [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/cs/produkty/robot-ur3/>
- [7] Kontrolér robotu UR3 [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: [https://www.mybotshop.de/bilder/Prod\\_Beschreibung\\_Bilder/Universal\\_Robots\\_Touch.jpg](https://www.mybotshop.de/bilder/Prod_Beschreibung_Bilder/Universal_Robots_Touch.jpg)
- [8] Uživatelská příručka UR3/CB3 [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: [https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/ur-support-site/32331/UR3\\_User\\_Manual\\_cs\\_Global-3.5.5.pdf](https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/ur-support-site/32331/UR3_User_Manual_cs_Global-3.5.5.pdf)
- [9] The URScript Programming Language [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: [https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/ur-support-site/18679/scriptmanual\\_en.pdf](https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/ur-support-site/18679/scriptmanual_en.pdf)
- [10] Technický list Optoforce HEX-E [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: [https://www.escad-group.com/fileadmin/Dateien/ESCAD\\_OPTOFORCE\\_Kraftsensor\\_Hex-E.pdf](https://www.escad-group.com/fileadmin/Dateien/ESCAD_OPTOFORCE_Kraftsensor_Hex-E.pdf)
- [11] Technický list Universal gripper electric EU EU-12 & EU-20 [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: [https://www.afag.com/fileadmin/user\\_upload/afag/Produkte/HTK\\_Greifen\\_Drehen/PDF\\_Files/EU\\_PDB\\_EN.pdf](https://www.afag.com/fileadmin/user_upload/afag/Produkte/HTK_Greifen_Drehen/PDF_Files/EU_PDB_EN.pdf)

- 
- [12] Bezkontaktní indukční snímače přiblížení - obecný popis [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/komponenty-mereni-a-regulace/indukcni-snimace-priblizeni-obecny-popis.html>
- [13] Profily ITEM [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://cz.item24.com/>
- [14] Bezkontaktní snímače Balluff [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.balluff.com/en/de/productfinder/product/?key=BES016E#/>

## **Seznam příloh**

- Příloha A:    Návod do cvičení
- Příloha B:    3D model navržené demonstrační úlohy
- Příloha C:    Program robotu demonstrační úlohy